

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Meteostanice na Raspberry PI

Weather Station on Raspberry PI

Zadání bakalářské práce

Student:

Josef Obrusník

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Meteostanice na Raspberry PI
Weather Statione on Raspberry PI

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhňte a vytvořte přídatný modul pro počítač Raspberry PI, který bude umožňovat připojení čidel teploty, tlaku, vlhkosti, rychlosti a směru větru. Modul bude také obsahovat hodiny reálného času.

1. Navrhňte vhodné součástky pro měření všech definovaných veličin.
2. Navrhňte a realizujte obvodové schéma.
3. Pro navržený modul vytvořte knihovnu pro jazyk C/C++. Knihovna bude umožňovat získání dat z kteréhokoli z připojených čidel.
4. Vytvořte řádkový program pro OS Linux, který bude demonstrovat použití knihovny.
5. Vytvořte webové rozhraní, které bude měřená data prezentovat.
6. Porovnejte dosažené výsledky s dostupnými meteostanicemi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SKOČOVSKÝ, Luděk a Scott JERNIGAN. Linux: dokumentační projekt. 4., aktualiz. vyd. Překlad Ivo Fořt, David Krásenský. Brno: Computer Press, 2007, 1334 s. ISBN 978-80-251-1525-1
- [2] R.Brugge; Setting Up a Weather Station and Understanding the Weather: A Guide for the Aamateur Meteorologist; The Crowood Press, 2016; ISBN 1785001620

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Seidl, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářsko práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 28. dubna 2017



Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu Ing. David Seidl, Ph.D. za odborné vedení práce a rady, které mi pomohly práci zkompletovat.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navržení a sestavení meteostanice z volně dostupných součástí. Tato meteostanice je sestavena na mikro počítači Raspberry Pi. Meteostanice umožňuje měřit teplotu, vlhkost, tlak, rychlost a směr větru. Získané data, meteostanice zpracovává a zasílá na vzdálený server, kde tyto data zapisuje do MySQL databáze. Na tomto vzdáleném serveru běží webová aplikace, která je volně přístupná z internetu. Webová aplikace prezentuje změřená data. K dispozici jsou aktuální naměřená data, které se aktualizují každou hodinu. Lze zobrazit naměřené hodnoty z historie, v různých časových intervalech a také statistiky, které se skládají z těchto hodnot.

Klíčová slova: Meteostanice, Raspberry Pi, Raspberry Pi sense HAT, ADC Pi Plus, Anemometer T114, Ukazatel směru větru T115

Abstract

The aim of this bachelor thesis is design and construction of weather station from freely accessible parts. This weather station is constructed on micro-computer Raspberry Pi. The weather station gives us the ability to measure temperature, humidity, barometric pressure, speed and direction of wind. The weather station validates obtained data and sends them to distant server, where the data is being written in MySQL database. On this server runs a web application, which is free to download on the internet. The web application presents measured data. Current data is available and being updated every hour. It possible to see the values from history in many different time intervals and also statistics which are based on those values.

Key Words: Weather station, Raspberry Pi, Raspberry Pi sense HAT, ADC Pi Plus, Anemometer T114, Wind Vane T115

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam výpisů zdrojového kódu	12
1 Úvod	13
2 Meteorologie	14
2.1 Teplota vzduchu	14
2.2 Vlhkost	14
2.3 Rosný bod	15
2.4 Atmosferický tlak	15
2.5 Vítr	16
3 Hardware	18
3.1 Rozhraní GPIO	19
3.2 Sběrnice I2C	20
3.3 Raspberry Pi Sense HAT	20
3.4 ADC Pi Plus	21
3.5 Čidla větru	22
3.6 Hodiny reálného času	23
4 Implementace	25
4.1 Operační systém	25
4.2 Instalace modulů	25
4.3 Knihovna pro C++	27
4.4 Implementace čidel větru	29
4.5 Použití knihovny	31
4.6 Implementace konzolové aplikace do systému	33
5 Webové rozhraní	34
5.1 Databáze	35
5.2 Webová aplikace	36

6 Porovnání naměřených hodnot	39
6.1 Použité meteostanice	39
6.2 Naměřené hodnoty	40
7 Závěr	42
Literatura	43
Přílohy	43
A Obrázky webové aplikace	44
B Shrnutí instalace meteostanice	46
C Obsah CD	47

Seznam použitých zkratek a symbolů

I2C	– Inter-Integrated Circuit
GPIO	– General-purpose input/output
RAM	– Random Access Memory
GPU	– graphic processing unit
CPU	– central processing unit
GND	– ground (zem)
SCL	– Synchronous Clock
SDA	– Synchronous Data
GPIO	– General-purpose input/output
I2C	– Inter-Integrated Circuit
HAT	– Hardware Attached on Top
UART	– Universal asynchronous receiver/transmitter (asynchronní sériové rozhraní)
SPI	– Serial Peripheral Interface (sériové periferní rozhraní)
Json	– JavaScript Object Notation
GCC	– GNU Compiler Collection
PGA	– Programmable Gain Amplifier
NTP	– Network Time Protocol

Seznam obrázků

1	Větrná růžice zobrazující relativní četnost výskytu směru větru. (Zdroj: [4]) . . .	17
2	Raspberry PI 2 Model B (Zdroj: https://www.raspberrypi.org/)	18
3	Rozhraní GPIO na Raspberry PI 2 model B (Zdroj: http://pinout.xyz/) . . .	19
4	Raspberry Pi Sense HAT (Zdroj: https://www.raspberrypi.org/)	21
5	Rozšiřující modul ADC Pi Plus. (Zdroj: http://abelectronics.co.uk/)	22
6	Nastavení I2C adres pomocí zkratovacích propojek. (Zdroj: http://abelectronics.co.uk/)	22
7	Anemometr k meteostanicím WH1080 a WH1090 (Zdroj: http://hadex.cz/) . .	23
8	Ukazatel směru větru k meteo WH1080 a WH1090 (Zdroj: http://hadex.cz/) .	23
9	PiFace Shim RTC - obvod reálného času (Zdroj: http://rpishop.cz/)	24
10	Adresy připojených zařízení na sběrnici I2C.	26
11	Blokové schéma připojení čidla směru větru.	27
12	Řádkový program, pro výpis aktuálních hodnot čidel.	32
13	Úvodní stránka webové aplikace.	34
14	Meteostanice AURIOL s bezdrátovými moduly. (Zdroj: http://lidl-service.com/)	39
15	Úvodní stránka webové aplikace	44
16	Zobrazení detailů na úvodní stránce	44
17	Historie vývoje počasí za 4. měsíc roku 2017 a ukázka výběru.	45
18	Zobrazení kompletních statistik a větrné růžice.	45

Seznam tabulek

1	Beaufortova stupnice. (Zdroj: http://www.garni-meteo.cz/)	16
2	Parametry jednodeskového počítače Raspberry Pi 2 model B	19
3	Tabluka s hodnotami a napětím na napěťovém děliči.	24
4	Parametry tabulky v databázi.	35
5	Naměřené hodnoty teploty.	40
6	Naměřené hodnoty větru.	41
7	Naměřené hodnoty vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku.	41

Seznam výpisů zdrojového kódu

1	Příkaz na spuštění nástroje Rasbian config.	25
2	Příkaz na spuštění nástroje Rasbian config.	26
3	Příkaz na spuštění nástroje Rasbian config.	26
4	Instalace balíčku pro modul Raspberry Pi Sense HAT	27
5	Funkce pro výpočet rychlosti větru.	30
6	Inicializace knihovny WiringPi a registrace funkce AnemometrOn()	30
7	Část funkce GetWindDirection() rozpoznávající směr větru.	31
8	Instalace SQL klienta	32
9	Obsah jednotky weatherpi.service	33
10	Povolení a spuštění jednoty systemd.	33
11	PHP skript vypisující odhadovanou nadmořskou výšku.	36
12	Průměrování a ukládání načtených dat do pole.	37
13	Konfigurační objekt pro vykreslení grafu pomocí ChartJS.	38

1 Úvod

V dnešní pokrokové době lze aktuální stav počasí a jeho vývoj zjistit v televizi, na internetu, nebo pomocí našeho chytrého mobilního telefonu. Informace získané z těchto zdrojů mohou být nepřesné, protože nepochází přímo z našeho okolí. Z tohoto důvodu se dnes v mnoha domácnostech v mém okolí nacházejí digitální meteostanice, které jsou již zahrnuty v jiných zařízeních v domácnosti, které se vyskytují na každém kroku a zpravidla nemají s měřením meteorologických prvků nic společného. Tyto jednoduché meteostanice jsou součástí například budíku, hodin a dokáží obvykle měřit aktuální vnitřní nebo venkovní teplotu. Pro svou jednoduchost bývají nepotřebnými a jsou nahrazovány modernějšími meteostanicemi, které obsahují nejen senzory pro měření vlhkosti a tlaku, ale také senzory pro měření rychlosti a směru větru, popřípadě srážek. Na základě těchto hodnot aktuálního počasí lze předpovědět pravděpodobné klimatické změny pro nejbližší budoucnost. Poptávka většiny domácností a jejich zvědavá touha po informacích masivně zvedla výrobu těchto meteostanic, díky čemuž se staly cenově dostupné. Dnes jsou tyto meteostanice neodmyslitelnou součástí chodu domácnosti a lidského života.

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a sestavit domácí meteostanici pracující na jednodeskovém mikro počítači Raspberry PI, která pomocí senzorů dokáže měřit základní meteorologické hodnoty v pravidelném časovém rozmezí. Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je zaměřena převážně na meteorologii a její základní pojmy. Dále obsahuje detailní popis použitých modulů, čidel a technologií. Součástí této teoretické části je také implementace a seznámení uživatele s konzolovou a webovou aplikací, která umožňuje uživateli nahlédnout mezi naměřené hodnoty. V praktické části bakalářské práce probíhalo navržení a sestavení vhodných komponentů pro měření veličin, jejich následného naprogramování v knihovně pro jazyk C++ a tvorba webové aplikace umožňující uživateli zobrazit vývoj počasí v grafech, nastavitelných do určitého časového rozhraní.

2 Meteorologie

"Meteorologie, označovaná také jako fyzika atmosféry, využívá fyzikálních poznatků a metod řešení k popisu aktuálního stavu atmosféry. Meteorologie, označovaná také jako fyzika atmosféry, využívá fyzikálních poznatků a metod řešení k popisu aktuálního stavu atmosféry." (Citace [1]) Aby tyto děje bylo možné sledovat a měřit, byly za tímto účelem zřizovány meteorologické stanice, kde platí dohodnuté mezinárodní, nebo vnitrostátní pravidla pro získání potřebných dat, řídící se podle Světové meteorologické organizace se sídlem v Ženevě. Aktuální stav atmosféry je nazýván počasí. Podle tohoto stavu počasí se každodenně řídí nejen aktuální chod ekosystému planety, ale také člověk, který je počasím stále obkloповán. Meteorologie jako vědní obor se začala rozvíjet zhruba v 1. polovině 17. století, kdy došlo k vynálezu přístrojů, které umožnily měřit například tlak a teplotu vzduchu, čímž došlo k postupnému pokroku v oblasti poznatků o atmosféře Země. Meteorologie čerpá z několika odvětví věd, jako je fyzika, hydrologie aj., a využívá jejich poznatků, díky čemuž má aplikovaná meteorologie značný význam v zemědělství, letectví nebo námořní dopravě.

Zdroj: [1], [2]

2.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu je meteorologický prvek udávající tepelný stav ovzduší. Hlavní příčinou rozdílnosti teplot na různých místech je nestejnorodost zemského povrchu, v nižších polohách zemského povrchu je teplota vyšší a ve vyšších polohách nižší. Během dne můžeme nejnižší teplotu naměřit pár minut před východem slunce a nejvyšší teplotu kolem 13-15 hodiny odpolední.

Teplota vzduchu je měřena pomocí teploměru, který je standardně umístěn 2 metry nad zemským povrchem ve stínu. Klasické teploměry pracují na principu rozpínavosti látek vzhledem k okolní teplotě, nejčastěji u klasických teploměrů využívané látky jsou rtuť a líh. V Evropě nejčastěji měříme pomocí Celsiovy stupnice, teplotu ovšem lze měřit na různých teplotních stupnicích jako je Kelvinova, Fahrenheitova. Mezi stupnicemi jsou rozdíly, v Celsiově stupnici je 0° udávána jako bod mrazu, zatím co v Kelvinově stupnici je to $273,16^{\circ}$.

Zdroj: [2], [3]

2.2 Vlhkost

Vlhkost vzduchu je množství vodních par obsažených ve vzduchu. Vodní páry se do vzduchu dostávají vypařováním vodní hladiny a z půdy. Vodní páry obsažené ve vzduchu jsou podmínkou pro vznik oblačnosti a srážek. Mírou nasycení vzduchu vodní parou je relativní vlhkost. Je to poměr mezi skutečným obsahem vodních par a maximálním možným obsahem par při dané teplotě. Teplota, při níž se pára obsažená ve vzduchu stane nasycenou se nazývá rosný bod.

Průměrná relativní vlhkost v našich zeměpisných šířkách je nejvyšší v listopadu, prosinci a lednu, nejnižší je mezi dubnem až srpnem. Vlhkost vzduchu se měří vlhkoměrem (hygrometrem).

2.2.1 Relativní a absolutní vlhkost

Relativní vlhkost udává poměr mezi aktuálním stavem množství vodní páry ve vzduchu a množstvím, které by měl při stejné teplotě a tlaku při plném nasycení. Relativní vlhkost vzduchu je udávána v %. 100 % relativní vlhkosti znamená plné nasycení vodní párou. V tomto případě nastává mlha. Absolutní vlhkost se udává v g/m^3 vzduchu. Vyjadřuje tedy hmotnost vodní páry v objemu vzduchu.

Jelikož relativní vlhkost závisí také na teplotě vzduchu jeho hodnoty se při různých teplotách mění, absolutní vlhkost ovšem při jakékoli teplotě zůstává stejná.

Zdroj: [2] [4]

2.3 Rosný bod

Rosný bod je teplota, při které je vzduch nasycen maximálním množstvím vody, relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %. Jak již bylo zmíněno, vzduch za určité teploty může obsahovat jen určité množství vodních par. Čím je teplota vyšší, tím více vlhkosti vzduch pojme. Pokud je vzduch plně nasycen a začne se ochlazovat, vodní páry začnou kondenzovat a teplota je nižší než rosný bod. V tomto případě vzniká rosa, mlha, anebo ve vyšších polohách mraky. Pokud je teplota nižší než je bod mrazu vzniká jinovatka, námraza anebo sněhové srážky.

Zdroj: [2]

2.4 Atmosferický tlak

Atmosférický tlak vychází z hmotnosti vzduchu v atmosféře, obvykle se na území České Republiky měří v hektopascalech. Tlak není na všech místech stejný, jeho velikost je závislá na nadmořské výšce, teplotě ale také na jednotlivých plynných vrstvách. Průměrný atmosférický tlak u hladiny moře se nazývá normální atmosférický tlak a má hodnotu 1013,25 hPa.

Pro atmosférický tlak není tak důležitá absolutní hodnota jako změna a rychlost změny. Pomocí změny a rychlosti změny se dá předpovědět počasí. Zvýšení tlaku signalizuje slunečné počasí, snížení poté oblačno a přehánky.

Zdroj: [2]

2.5 Vítr

Vítr vzniká při pohybu vzduchu v atmosféře, a ten se pohybuje z důvodu vyrovnávání tlaků na různých místech. Vzduch se pohybuje jak vertikálně, tak i horizontálně a probíhá ve všech částech atmosféry. Za vítr se ovšem považuje pouze horizontální proudění vzduchu.

2.5.1 Rychlost větru

Rychlost větru je vzdálenost, kterou vzduch urazí za jednotku času. Udává se v metrech za sekundu nebo v kilometrech za hodinu ($1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$). Rychlost větru je měřena anemometrem, ty se pak dělí na mechanické, aerodynamické a zchlazovací.

V letech 1805-1808 byla sestrojena Beaufortova stupnice, která umožňovala odhadnout sílu, tedy rychlost větru. Stupnice je velmi praktická, jelikož rychlost větru lze určit podle dějů odehrávajících se v přírodě bez potřeby dalších přístroje. Tabulka 1 zobrazuje popis Beaufortovy stupnice.

Tabulka 1: Beaufortova stupnice. (Zdroj: <http://www.garni-meteo.cz/>)

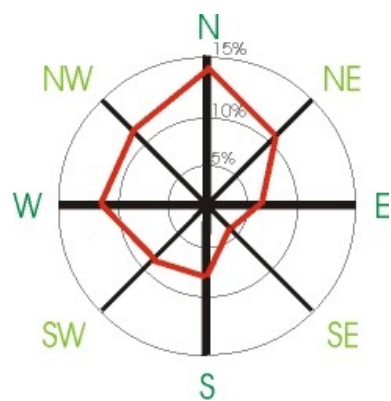
Stupeň	Vítr	[m/s]	Znaky
0	Bezvětrí	< 0.5	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	~ 1.25	směr větru poznatelný podle pohybu kouře
2	větřík	~ 3	listí stromu šelestí
3	slabý vítr	~ 5	listy stromů a větvičky v trvalém pohybu
4	mírný vítr	~ 7	zdvihá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	~ 9.5	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	~ 12	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný vichr	~ 14.5	chůze proti větru je nesnadná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý vichr	~ 17.5	ulamují se větve, chůze proti větru je nemožná
9	silný vichr	~ 21	vítr strhává komíny, tašky a břidlice ze střech
10	plný vichr	~ 24.5	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
11	vichřice	~ 29	působí rozsáhlá pustošení
12	orkán	> 30	ničivé účinky (odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

2.5.2 Směr větru

Směr větru udává směr, odkud vítr vane. Směr větru se udává buďto pomocí světových stran, nebo přesněji pomocí azimutu, kdy 0° je sever, 90° východ atd. Směr větru se měří pomocí větrných směrovek umístěných ve výšce 10 metrů.

2.5.3 Větrná růžice

Větrná růžice (Obrázek 1) je graf znázorňující relativní četnost výskytu směru větru uváděnou v procentech, nebo střední hodnoty rychlosti větru.



Obrázek 1: Větrná růžice zobrazující relativní četnost výskytu směru větru. (Zdroj: [4])

Zdroj: [2] [3] [4]

3 Hardware

Pro sestavení meteostanice byl zvolen jednodeskový mikropočítač Raspberry Pi, přesněji verze 2 model B (Obrázek 2). Tento model mikropočítače vychází z 1. generace Raspberry Pi model B. Rozložení komponentů a počet vstupů a výstupů je u obou verzí totožný. Hlavní rozdíly ovšem nastali u procesoru a operační paměti typu RAM, kdy 2. generace byla osazena 4 jádrovým procesorem ARM Cortex-A7 s taktem 900 MHz a operační paměť byla zdvojnásobena na 1 GB. Počítač je opatřen veškerým potřebným hardwarem kromě úložiště. Pro instalaci operačního systému je potřeba do zařízení vložit micro SD kartu o minimální velikosti 2 GB. Nový procesor architektury jádra ARMv7 přináší širší podporu linuxových distribucí, podpora je i nově zřízena díky úzké spolupráci pro Microsoft Windows 10¹. Tabulka 2 obsahuje technické parametry mikropočítače Raspberry Pi 2 model B.



Obrázek 2: Raspberry PI 2 Model B (Zdroj: <https://www.raspberrypi.org/>)

Nevýhodou Raspberry Pi 2 model B je absence hodin reálného času, proto je nutné mít Raspberry Pi připojeno k NTP serveru pro synchronizaci času. Nastavení reálného času je v případě meteostanice velice důležité, a to z důvodu pravidelného odpočtu potřebných dat z čidel a jejich následovné odesílání do databáze. Tento problém lze vyřešit připojením externího obvodu reálného času.

Výhodou této verze je rozšířené rozhraní GPIO, které je již od 1. generace modelu B+ 40

¹Více informací: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-2-on-sale/>

pinová. Raspberry Pi zajišťuje i zpětnou kompatibilitu se staršími moduly, které byly navrženy pro předchozí modelové generace, které nabízeli pouze 26 pinů.

Tabulka 2: Parametry jednodeskového počítače Raspberry Pi 2 model B

	Specifikace
Procesor	Broadcom BCM2836 ARMv7 (4x900MHz)
RAM	1 GB sdílené s GPU
Interní paměť	MicroSD port
Video	HDMI, DSI, 3.5mm jack TRRS (kompozitní video)
Zvuk	3.5 mm JACK, HDMI
Síťová karta	10/100 RJ45 (ethernet)
USB	4x USB 2.0
GPIO	40 pin
Zdroj energie	5 V - MicroUSB / GPIO
Rozměry	85,60 mm × 56,5 mm (bez konektorů)

3.1 Rozhraní GPIO

GPIO nebo General Purpose Input/Output jsou piny, tedy jakési vývody, které lze programovat pomocí softwaru. Do těchto pinů lze posílat elektrický signál nebo jej z nich naopak přijímat, tím lze ve finále pracovat s připojeným hardware na té nejnižší úrovni. Obrázek 3 zobrazuje rozhraní GPIO obsahující celkem 40 pinů, z toho 14 vstupně výstupních pinů. Rozhraní GPIO nabízí výstupní napětí 3.3 V a společný nulový potenciál, označován jako GND. Dále rozhraní GPIO disponuje dvěma sběrnicemi I2C. První sběrnice, označena I2C0, slouží k identifikaci rozšiřujících modulů HAT, druhá, označena jako I2C1, k připojení zařízení či modulů. Další dva piny slouží pro UART a v poslední řadě 8 pinů pro SPI.

Zdroj: [6]

Raspberry Pi GPIO BCM numbering



Obrázek 3: Rozhraní GPIO na Raspberry PI 2 model B (Zdroj: <http://pinout.xyz/>)

3.2 Sběrnice I2C

Sběrnice I2C je tvořena dvojicí signálových vodičů. První signálový vodič slouží pro obousměrný přenos dat, nazýván SDA (Synchronous Data), druhý vodič slouží k přenosu společného hodinové signálu, tento vodič je nazýván SCL (Synchronous Clock). V praxi je nutné k těmto vodičům přidat ještě společnou signálovou zem (GND).

Zařízení nacházející se na sběrnici se dělí na master a slave. Veškeré řízení sběrnice má na starosti zařízení nakonfigurované do režimu master, které také generuje hodinový signál. Aby nedocházelo na sběrnici ke kolizím, smí na sběrnici současně koexistovat pouze jedno zařízení typu master. Všechny ostatní zařízení pracují v režimu slave sběrnici nemohou řídit. Komunikace je zahájena zařízením typu master, které začne vysílat adresu zařízení, se kterým si přeje komunikovat. Všechna zařízení typu slave naslouchají a pokud uslyší svou adresu, začnou dle požadavku zařízení typu master vysílat či přijímat data.

Počet zařízení připojených na sběrnici I2C je omezený počtem 7 bitových adres, která tato sběrnice umožňuje. 8. bit slouží k určení, zdali zřízení s danou adresou bude vysílat či přijímat. Prakticky však nelze využít všech 128 adres, jelikož některé z adres jsou rezervovány pro další účely. Například adresa 0000000 je určena pro vysílání broadcast, adresy 0000011, 00001XX a 11111XX jsou rezervovány pro další účely.

Zdroj: [5]

3.3 Raspberry Pi Sense HAT

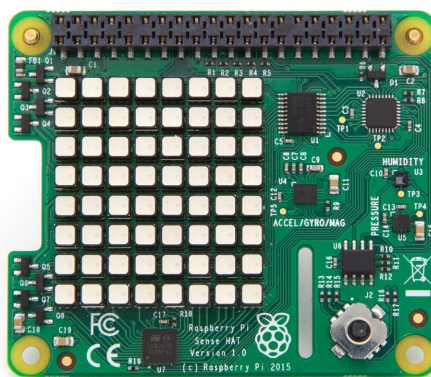
Raspberry Pi Sense HAT (Obrázek 4) je přídatná senzorová karta pro Raspberry Pi, vyrobená speciálně pro misi Astro Pi². Deska obsahuje matici 8x8 RGB LED, pěti-tlačítkový joystick a následující senzory: gyroskop, akcelerometr, magnetometr, teplota, barometrický tlak a vlhkost.

Samotné senzory komunikují pomocí sběrnice I2C. Senzor pro akcelerometr a magnetometr LSM9DS1 nalezneme na adrese I2C 0x1c a 0x6a. Matice RGB LED je LED2472G připojená přes Atmel ATTINY88³, ten komunikuje také pomocí sběrnice I2C na adrese 0x46.

Tato přídatná senzorová karta byla vybrána, jelikož obsahuje potřebné senzory k měření teploty, vlhkosti a tlaku. Všechny tyto senzory nabízí dostačující přesnost uváděnou výrobcem, pro měření těchto veličin v atmosféře.

²Astro Pi: <https://astro-pi.org/>

³Nejmenší osmibitový mikrořadič z rodiny AVR



Obrázek 4: Raspberry Pi Sense HAT (Zdroj: <https://www.raspberrypi.org/>)

3.3.1 Tlakový senzor LPS25H

LPS25H je piezoelektrický tlakový a teplotní senzor. Výrobce je garantován provoz v teplotním rozsahu od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Napájecí napětí se pohybuje od 1.7 V do 3.6 V . Absolutní tlak senzor měří v rozsahu od 260 do 1260 hPa, s absolutní odchylkou $\pm 1\text{ hPa}$. Senzor nalezneme na sběrnici I2C s adresou 0x5c.

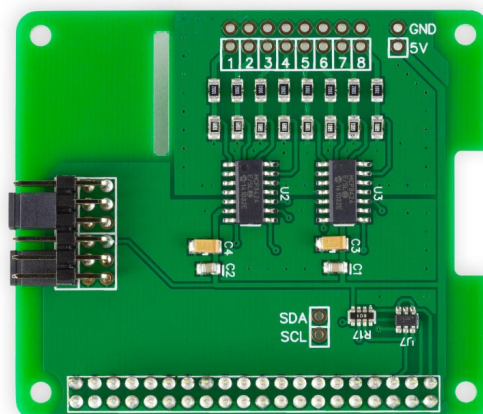
3.3.2 Teplotní a vlhkostní senzor HTS221

HTS221 je senzor pro měření relativní vlhkosti a teploty s 16-bitovým analogově digitálním převodníkem. Výrobce je garantován provoz v teplotním rozsahu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ s provozním napájecím napětím od 1.7 V do 3.6 V . Senzor měří relativní vlhkost s přesností $\pm 3.5\%$ v rozsahu od 20 % do 80 % relativní vlhkosti, teplotu poté s přesností $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ v rozsahu od 15 do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro komunikaci lze využít SPI anebo I2C sběrnici s adresou 0x5f.

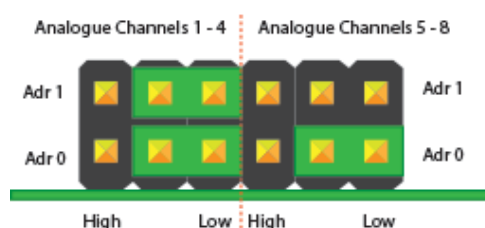
3.4 ADC Pi Plus

ADC Pi Plus (Obrázek 5) je rozšiřující modul pro Raspberry Pi, založen na dvojici analogově-digitálních převodníků MCP3424, kdy každý obsahuje 4 analogové vstupy. Na každý z těchto osmi vstupů lze připojit napětí v rozsahu 0 až 5 V, které lze odčítat až se 17 bitovou přesností. Samotný modul je připojen k Raspberry Pi pomocí rozhraní GPIO, z kterého je také napájen 5 V, avšak neznemožňuje připojení dalších modulů. Komunikace modulu probíhá pomocí sběrnice I2C. Adresy sběrnice I2C lze volit pomocí zkratovacích propojek na desce (Obrázek 6). Převodník MCP3424 podporuje až 8 různých I2C adres, lze tedy pro každý převodník vybrat adresu tak, aby nedocházelo ke kolizím.

Pomocí softwaru lze nakonfigurovat přenosovou rychlost dat pro analogově-digitální konverzi. Lze nastavit rychlost na 3.75, 15, 60 nebo 240 vzorků za sekundu, avšak se stoupající hodnotou rychlosti klesá přesnost naměřené hodnoty.



Obrázek 5: Rozšiřující modul ADC Pi Plus. (Zdroj: <http://abelectronics.co.uk/>)



Obrázek 6: Nastavení I2C adres pomocí zkratovacích propojek. (Zdroj: <http://abelectronics.co.uk/>)

Výrobce nabízí knihovny pro práci s modulem v jazycích C, Python a nebo pro Windows 10 v C# volně ke stažení.⁴

3.5 Čidla větru

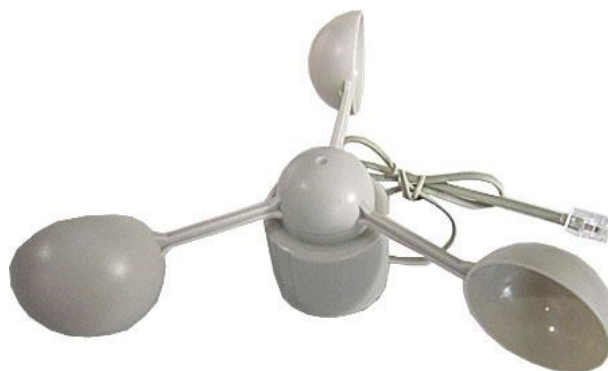
Pro měření větru byla zvolena čidla, která jsou volně dostupná jako náhradní díly k meteostanicím WH1080 a WH1090.

3.5.1 Rychlost větru

Ukazatel rychlosti větru (anemometr) T114 (Obrázek 7), funguje na principu magnetu otáčejícího se kolem magnetického spínače. Magnetický spínač je umístěn ve spodní části anemometru, magnet poté v horní části, která se otáčí. Magnetický spínač se sepne každé půl otáčky. Výrobce uvádí, že při sepnutí snímače jednou za sekundu odpovídá rychlosti větru 2.4 km/h. Spínač anemometru je vyveden pomocí dvou vodičů zakončených konektorem RJ-11.

Díky jednoduchému principu, na kterém tento anemometr pracuje, lze toto čidlo připojit přes vstupně výstupní piny na rozhraní GPIO.

⁴Knihovny ADC: <https://github.com/abelectronicsuk/>



Obrázek 7: Anemometr k meteostanicím WH1080 a WH1090 (Zdroj: <http://hadex.cz/>)

3.5.2 Ukazatel směr větru

Ukazatel směru větru T115 (Obrázek 8), funguje na podobném principu jako ukazatel rychlosti větru. V horní části, která se otáčí je uložen magnet, který spíná magnetické spínače uložené ve spodní části. Ve spodní části se nachází 8 magnetických spínačů, každý vždy spojen s jedním jiným rezistorem.



Obrázek 8: Ukazatel směru větru k meteo WH1080 a WH1090 (Zdroj: <http://hadex.cz/>)

Pro odečtení hodnot poté bylo využito napěťového děliče, který může být měřen pomocí analogově-digitálního převodníku. Napětí bylo měřeno na pomocném odporu 13k Ohmů a vstupní napětí je 5 V. Tabulka 3 zobrazuje seznam odporu, stupňů a výstupní napětí z napěťového děliče.

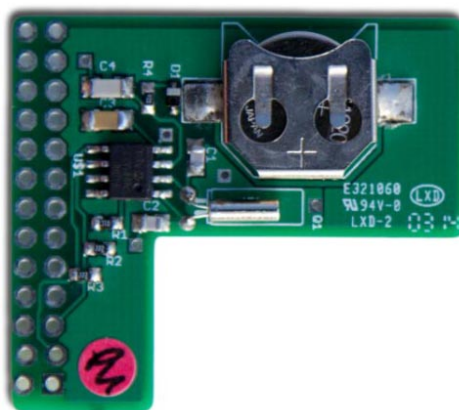
3.6 Hodiny reálného času

Jak již bylo zmíněno, v Raspberry PI se nenachází integrovaný obvod reálného času. Z tohoto důvodu byl přidán modul reálného času od PiFace. PiFace Shim RTC modul (Obrázek 9) byl navržen pro uchovávání přesného času, bez potřeby připojení k internetu, tak aby nezamezoval připojení dalších modulů pomocí rozhraní GPIO a ponechává tak GPIO piny volně přístupné.

Tabulka 3: Tabulka s hodnotami a napětím na napěťovém děliči.

Směr (Stupně)	Odpor (Ohms)	Napětí (V=5 V, R=13k Ohms)
0	33k	1.41
45	8.2k	3.07
90	1k	4.64
135	2.2k	4.28
180	3.9k	3.84
225	16k	2.24
270	120k	0.49
315	64.9k	0.84

Modul je napájen 3 V baterií CR1220, udržující modul při chodu podle výrobce nejméně 2 roky. Komunikace Raspberry PI s modulem probíhá pomocí sběrnice I2C.



Obrázek 9: PiFace Shim RTC - obvod reálného času (Zdroj: <http://rpishop.cz/>)

4 Implementace

4.1 Operační systém

Pro jednodeskové mikropočítače Raspberry Pi byl použit oficiální operační systém, který nabízí výrobce tohoto zařízení. Jedná se o operační systém Raspbian, který je založen na linuxové distribuci Debian. Operační systém byl zvolen z důvodu velice dobré podpory jak výrobce, tak uživatelské základny. Tento operační systém je volně stažitelný z oficiálních stránek výrobce, kde jsou také odkazy na další volně stažitelné operační systémy jako je například Ubuntu Mate a Windows 10 IoT.⁵

4.1.1 Instalace

Zařízení Raspberry Pi nedisponuje interním úložištěm ale slotem na vyměnitelnou MicroSD kartu na kterou je nainstalován operační systém. Pro zařízení byl stažen soubor obrazu operačního systému z oficiálních webových stránek Raspberry Pi⁶. Soubor obrazu operačního systému byl v archivačním souboru typu zip. Po extrahování měl obraz operačního systému velikost přibližně 4 GB. Instalace obrazu operačního systému na paměťovou kartu byla provedena v systému Windows pomocí aplikace *Win32 Disk Imager*. Instalaci lze provést také v Mac OS pomocí nástroje *ApplePi-Baker* nebo v Linuxu pomocí utility *dd*.

Instalace byla dokončena vložením paměťové karty do Raspberry Pi a jeho následným spuštěním. K Raspberry Pi byl také připojen monitor pomocí HDMI výstupu, internet, bezdrátová klávesnice a myš. Po spuštění Raspberry Pi zbývalo nastavit jen pár údajů, jako je například rozložení připojené klávesnice.

4.2 Instalace modulů

Po nainstalování systému bylo potřeba nainstalovat potřebné moduly pro měření meteorologických prvků. Ještě než mohli být moduly využívány, bylo potřeba povolit I2C sběrnici pomocí nástroje Raspbian config. Výpis 1 zobrazuje příkaz pro spuštění tohoto nástroje v terminálu.

```
$ sudo raspi-config
```

Výpis 1: Příkaz na spuštění nástroje Raspbian config.

V konfiguračním nástroji bylo potřeba povolit sběrnici I2C, která se nacházela v záložce Advanced options. Nyní bylo potřeba nainstalovat nástroje I2C sloužící k ladění I2C sběrnice bez

⁵Operační systémy pro Raspberry Pi: <https://www.raspberrypi.org/downloads/>

⁶Stažení operačního systému Raspbian: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>

nutnosti psaní kódu. Příkaz pro instalaci I2C-tools vyobrazuje Výpis 2.

```
$ sudo apt-get install i2c-tools
```

Výpis 2: Příkaz na spuštění nástroje Rasbian config.

Obrázek 10 zobrazuje výpis, pomocí příkazu z nainstalovaných nástrojů, 7 bitových adres připojených zařízení na sběrnici I2C1. Pod adresou 0x68 a 0x69 komunikuje dvojice analogově-digitálních převodníků z rozšiřujícího modulu ADC Pi Plus. Tlakový a teplotní senzor má adresu 0x5c, senzor teploty a vlhkosti 0x5f. Modul hodin reálného času využívá adresu 0x6f. Zbylé adresy 0x1c, 0x6a a 0x46 patří senzorům akcelerometru, magnetometru a mikrokontroléru Atmel ATTINY88. Pokud jsou adresy označeny jako UU, znamená to, že pro tato zařízení jsou načteny ovládače.

```
pi@raspberrypi:~$ i2cdetect -y 1
    0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
10:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  1c  --  --  --
20:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  --  --  --  --  --  --  UU  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  5c  --  --  5f
60:  --  --  --  --  --  --  --  --  68  69  6a  --  --  --  --  UU
70:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
```

Obrázek 10: Adresy připojených zařízení na sběrnici I2C.

V první řadě byl nainstalován modul reálného času, který jako jediný z použitých modulů bylo potřeba před používáním nastavit. PiFace RTC používá malou 3 V knoflíkovou baterii s označením CR1220 pro udržení chodu modulu, i když je Raspberry Pi vypnuto. Nejdříve bylo potřeba tuto baterii vložit do kolébky, která se nachází na modulu. Po vložení baterie byl modul zasunut na prvních 26 pinu rozhraní GPIO tak, aby baterie směřovala ke středu Raspberry Pi.

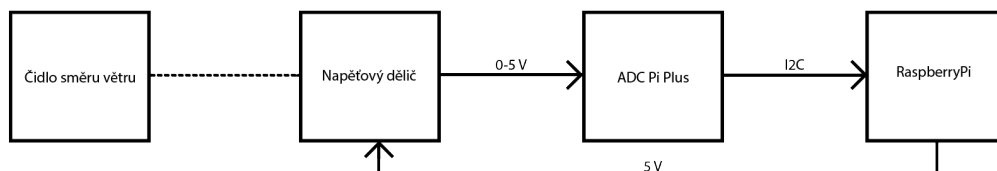
Pro PiFace RTC byl stažen skript z adresy <https://github.com/piface/>. Staženému skriptu bylo potřeba přidat oprávnění ke spuštění a poté byl spuštěn. Výpis 3 zobrazuje příkaz pro přidání oprávnění k spuštění skriptu a příkaz pro jeho následné spuštění.

```
$ chmod +x install-piface-real-time-clock.sh
$ sudo ./install-piface-real-time-clock.sh
```

Výpis 3: Příkaz na spuštění nástroje Rasbian config.

Po nastavení modulu PiFace RTC byl připojen modul ADC PI Plus pomocí patice GPIO, který

byl využit pro připojení čidla směru větru, jehož blokové schéma pro připojení k modulu zobrazuje Obrázek 11. ADC Pi plus po nasazení na sběrnici GPIO obsadí všech 40 pinů, výrobce ale k modulu dodává nástavec, který umožňuje na tyto piny připojení dalších periférií.



Obrázek 11: Blokové schéma připojení čidla směru větru.

Dále bylo k patici GPIO připojeno čidlo rychlosti větru, kdy jeden výstup čidla byl připojen na pin 3.3 V a druhý na vstupně výstupní pin GPIO 17. Jako poslední byl připojen modul Raspberry Pi Sense HAT, jelikož s dodávaným nástavcem pro připojení neumožňuje další prodloužení patice GPIO. Výpis 4 zobrazuje instalaci balíčku, zaručující správnou funkčnost, dodaného výrobcem, který zkontroluje, zdali je povolena sběrnice I2C a nainstaluje potřebné knihovny a programy pro práci s modulem. Po nainstalování balíčku bylo potřeba zařízení opět restartovat.

```
$ sudo apt-get install sense-hat
$ sudo reboot
```

Výpis 4: Instalace balíčku pro modul Raspberry Pi Sense HAT

4.3 Knihovna pro C++

Knihovny jsou nedílnou součástí programování v jazycích C/C++. Obsahují sadu funkcí a struktur, které spolu souvisí.

4.3.1 Použité knihovny

Kromě standartních knihoven jazyka C/C++ byly pro chod knihovny WeatherPi použity také knihovny výrobce, popřípadě knihovny vytvořeny jiným programátorem.

4.3.1.1 ABE_ADCPI

Knihovna ABE_ADCPI slouží pro komunikaci s modulem ADC Pi a ADC Pi Plus, který byl použit pro odčítání hodnot z čidla směru větru. Knihovna nabízí uživateli pouze dvě funkce. První s funkcí se nazývá `read_raw` a má 5 vstupních parametrů, pomocí kterých je nastavována I2C adresa, kanál (1-4), bitová rychlost, PGA a konverzní mód. Funkce `read_raw` vrátí nezápracovanou hodnotu z analogově digitálního převodníku. Druhá funkce se nazývá `read_voltage`

a má totožné vstupní parametry. Tato funkce již vrací hodnotu ze vstupu analogově digitálního převodníku uváděnou ve voltech. Pro odečítání dat z analogově digitálního převodníku byla využita funkce `read_voltage`.

4.3.1.2 WiringPi

WiringPi je knihovna založena na komunikaci s rozhraním GPIO napsaná v jazyce C, lze ji ovšem také použít v jazycích C++ a RTB. Knihovna nabízí funkce pro komunikaci se vstupně výstupními piny na rozhraní GPIO. Před použitím funkcí z knihovny WiringPi bylo potřeba nejprve zavolat funkci, která provádí inicializaci knihovny. K těmto účelům byla použita funkce `wiringPiSetup()`.

Z této knihovny byla použita funkce `wiringPiISR(int pin, int edgeType, void (*function)(void))`, registrující funkci, která má být spuštěna při přerušování specifikovaného pinu. Funkce má 3 vstupní parametry. První parametr udává číslo GPIO pinu, na jehož změnu má funkce reagovat. Druhý parametr `edgeType` určuje, kdy má na pin reagovat, při změně z logické 0 na 1, při změně logické 1 na 0, anebo v obou případech. Poslední parametr registruje funkci, která se bude volat.

Další funkcí, která byla využita je `millis()`. Tato funkce vrací počet milisekund od doby, kdy v programu byla zavolána funkce `wiringPiSetup()`. Vrací 32-bitové celé číslo bez znaménka (unsigned int).

4.3.1.3 RTIMULib

Knihovna RTIMULib byla doinstalována do systému společně při instalaci modulu Raspberry Pi Sense HAT. Knihovna je dodávána přímo výrobcem modulu a umožňuje provádět jednoduchou komunikaci programu s modulem pomocí již vytvořených funkcí. Knihovna byla využita pro čtení teploty, vlhkosti a tlaku z čidel umístěných na modulu Raspberry Pi Sense HAT.

Pro správnou funkčnost knihovny bylo potřeba nastavit, aby linker vyhledal knihovnu RMTLib. Tohoto nastavení lze docílit při kompilování programu pomocí kompilátoru GCC přidáním direktivy „`-lRMTLib`“.

4.3.2 Funkce knihovny

Pro meteostanici byla vytvořena knihovna s názvem WeatherPi, která umožňuje v jazyce C++ číst aktuální hodnoty připojených čidel. Tato knihovna využívá několik již vytvořených knihoven pro komunikaci jak se sběrnici I2C tak pro vstupně výstupní piny rozhraní GPIO. Použité knihovny naleznete v kapitole 4.3.1. Funkce jsou rozděleny do několika kategorií.

4.3.2.1 Konfigurační funkce:

- **WeatherPiInit()** – Tato funkce slouží pro inicializování čidel. Funkce musí být spuštěna na začátku programu, ještě před použitím funkcí pro získání atmosférických veličin.
- **ResetWindImpact()** – Funkce slouží pro vynulování nejvyšší nárazové rychlosti.

4.3.2.2 Funkce pro získání atmosférických veličin:

- **GetTemperature()** – Tato funkce vrací aktuální teplotu vzduchu, udávanou ve °C. Návratová hodnota je desetinné číslo typu double.
- **GetPressure()** – Funkce vrací aktuální atmosférický tlak, udávaný v hPa. Návratová hodnota je desetinné číslo typu double.
- **GetHumidity()** – Funkce vrací aktuální relativní vlhkost vzduchu v %. Návratová hodnota je desetinné číslo typu double.
- **GetAltitude()** – Funkce vrací přibližnou nadmořskou výšku v metrech nad mořskou hladinou, která je vypočítána z aktuálního atmosférického tlaku. Návratová hodnota je desetinné číslo typu double.
- **GetWindspeed()** – Tato funkce vrací aktuální rychlost větru v metrech za sekundu. Návratová hodnota je desetinné číslo typu double.
- **GetWindImpact()** – Funkce vrací nejvyšší nárazovou rychlost větru v metrech za sekundu. Návratová hodnota je desetinné číslo typu double.

4.3.2.3 Funkce pro výpis do konzole:

- **printWeatherPi()** – Tato funkce vykreslí logo knihovny do konzole.
- **displayWindDirection()** – Tato funkce má vstupní parametr směr větru ve stupních a vrací směr větru pomocí světových stran.
- **clearscreen()** – Tato funkce vymaže obsah konzole.

4.3.2.4 Vnitřní funkce knihovny:

- **AnemometrOn()** – Tato funkce neslouží uživateli. Tato funkce je volána při každé půl otáčce anemometru. Slouží k určování rychlosti.

4.4 Implementace čidel větru

V předchozích kapitolách byly popsány knihovny, pomocí kterých bylo přistupováno k senzorům teploty, vlhkosti a tlaku. Pro implementaci čidel větru byla využita vlastní implementace.

4.4.1 Implementace rychlosti větru

Pro komunikaci s čidlem byla zvolena knihovna WiringPi, popsána v kapitole 4.3.1. Výpočet rychlosti větru je založen na časových intervalech, v kterých je spínán magnetický spínač v čidle rychlosti větru. Při každém sepnutí čidla je uložena aktuální hodnota času v milisekundách, která je porovnávána s hodnotou předchozího sepnutí. Rozdíl těchto dvou hodnot je doba, za kterou lopatky čidla urazily půl otáčky. Výpočet rychlosti vychází z údajů výrobce, kdy jedno sepnutí čidla za sekundu je rovno rychlosti 2,4 km/h. Z tohoto tvrzení byl sestaven vzorec pro výpočet aktuální rychlosti $v = \frac{2.4}{3.6} \div \frac{t}{1000}$, kdy t je časový interval v milisekundách. Výsledná hodnota je rychlost větru uváděný v m/s.

Výpis 5 zobrazuje funkci, která je volána při sepnutí magnetického spínače v čidle rychlosti větru. Tato funkce kromě výpočtu aktuální rychlosti větru má na starost zaznamenávání nejvyšší hodnoty nárazového větru. Funkce zároveň kontroluje, zdali nebyla spuštěna více krát v jeden čas.

```
void AnemometrOn(){
    int cur_time = millis() - AnemometerTimer;
    if(cur_time>1 || millis()<1000){
        float wind_speed = (2.4/3.6) / (cur_time/1000.0);
        if(wind_speed<100){
            windStr=wind_speed;
            AnemometerTimer=millis();
            windSpeed = wind_speed;
            if(windSpeed>windImpact){
                windImpact=windSpeed;}
        }
    }
}
```

Výpis 5: Funkce pro výpočet rychlosti větru.

Funkce pro výpočet rychlosti byla registrovaná pomocí funkce knihovny WiringPi. Registrovaná funkce je poté volaná při sepnutí nebo odepnutí spínače. Výpis 6 zobrazuje inicializaci knihovny WiringPi a registraci funkce *AnemometrOn()*.

```
if (wiringPiSetup () < 0) {
    fprintf (stderr, "Unable to setup wiringPi: %s\n", strerror (errno));
    return 1;}
```

```
if ( wiringPiISR (0, INT_EDGE_FALLING, &AnemometrOn) < 0 ) {
    fprintf (stderr, "Unable to setup ISR: %s\n", strerror (errno));
    return 1;}

```

Výpis 6: Inicializace knihovny WiringPi a registrace funkce AnemometrOn()

4.4.2 Implementace směru větru

Směr větru byl odečítán s čidla pomocí knihovny ABE_ADCPI, popsanou v kapitole 4.3.1. K odečítání hodnot na napěťovém děliči byla zvolena funkce *read_voltage*, která vrací aktuální napětí udávané ve Voltech. Hodnota napětí je porovnávána a dle její hodnoty, je zvolen směr větru. Výpis 7 zobrazuje část funkce na odčítání hodnot napěťového děliče. Pokud hodnota přečtená z napěťového děliče

```
int GetWindDirection(){
    double input = read_voltage(0x68,1, 18, 1, 1);
    if(input > 0 && 0.33 > input)
        return 270;
    else if(input > 0.42 && 0.7 > input)
        return 315;
    else if((input > 0.7 && 1 > input) || (input > 0.33 && 0.42 > input) )
        return 0;
    else if( ...
        ...
    return 1;
}

```

Výpis 7: Část funkce GetWindDirection() rozpoznávající směr větru.

4.5 Použití knihovny

Pro demonstraci vytvořené knihovny WeatherPi v jazyce C++ byly vytvořeny dva programy. První z těchto programů slouží pro výpis aktuálních atmosférických hodnot. Druhý je zaměřen na zpracování těchto naměřených hodnot, které poté zasílá na vzdálený databázový server MySQL. Druhý z těchto programů byl také implementován do systému tak aby byl automaticky spuštěn ihned po spuštění operačního systému.

4.5.1 Konzolová aplikace

Tento program prezentuje, jak pracovat s vytvořenou knihovnou. Program vypisuje aktuální hodnoty meteorologické hodnoty z připojených čidel přehledně naformátované v řádkovém pro-

gramu. Hodnoty jsou aktualizovány v sekundových intervalech teplotu, vlhkost, tlak rychlost a směr větru. Směr větru je udáván jak ve stupních, tak i ve formě světových stran. Kromě aktuální rychlosti větru, program zaznamenává nejvyšší nárazovou rychlost větru a počítá průměrnou rychlost větru. Tyto hodnoty jsou zaznamenávány od spuštění programu. Obrázek 12 zobrazuje výstup vytvořeného programu.

```

WeatherPi
This application uses the WeatherPi library.

=====
||      Temperature: 2.07 °C      ||
||      Pressure: 996.02 hPa      ||
||      Humidity: 83.53 %         ||
||      Altitude: 144.40 m,n.m.   ||
=====

=====
||      Wind speed: 0.20 m/s      ||
||      Avarage: 0.43 m/s         ||
||      Wind impact: 2.96 m/s     ||
||      Direction: North-East     ||
||                               ||
||                               ||
||      45°                       ||
=====

```

Obrázek 12: Řádkový program, pro výpis aktuálních hodnot čidel.

4.5.2 Program pro komunikaci s databází

Jelikož bylo potřeba vytvořit webovou prezentaci, kde budou prezentovány naměřené hodnoty, bylo potřeba programu, který hodnoty webové aplikaci poskytne. Pro ukládání dat byla zvolena databáze MySQL, k níž výrobce nabízí ke stažení knihovnu pro jazyk C. Výpis 8 zobrazuje instalaci potřebné knihovny.

```
sudo apt-get install libmysqlclient
```

Výpis 8: Instalace SQL klienta

Pro tyto účely byla zvolena knihovna mysql. Obsluha této knihovny a komunikace s databázovým serverem byla díky této knihovny snadná. Pro připojení ke vzdálenému serveru byla použita funkce `mysql_real_connect`, pomocí jejích parametrů byl specifikován server, uživatel, heslo, databáze a porty. Návrátová hodnota je typu `MYSQL`. Pro kontrolu připojení k databázi byla zvolena funkce `mysql_ping`, která vrací hodnotu 0, jestliže je spojení v pořádku. V případě jiné

návratové hodnoty, než je 0, bylo potřeba navázat nové spojení s databází. Pro vykonání SQL dotazu byla zvolena funkce `mysql_query`. SQL dotaz byl vytvářen pomocí `ostringstream`.

4.6 Implementace konzolové aplikace do systému

Je velice důležité, aby řádkový program na zasílání dat do databáze byl spuštěn automaticky po startu operačního systému, a to například z důvodu samovolného restartu zařízení. V těchto případech pak může docházet ke zbytečným výpadkům, dokud uživatel program ručně nespustí. K tomuto účelu byl využit `systemd`, který byl vyvinut speciálně pro Linux. Jedná se o démona, který je spuštěn během zavádění operačního systému. `Systemd` je kořenový proces všech ostatních procesů v `user space`.

V první řadě byl vytvořený program zkopírován do adresáře `/usr/bin/`. Poté byla vytvořena jednotka v adresáři `/etc/systemd/user` se jménem `weatherpi.service`. Výpis 9 zobrazuje obsah vytvořené jednotky.

```
[Unit]
Description=WeatherPi upload data to DB
After=network.target

[Service]
User=pi
Type=simple
ExecStart=/usr/bin/WeatherStationDBconnector

[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

Výpis 9: Obsah jednotky `weatherpi.service`

Jakmile byla jednotka vytvořena, stačilo ji povolit a spustit v terminálu pomocí příkazu, které zobrazuje Výpis 10.

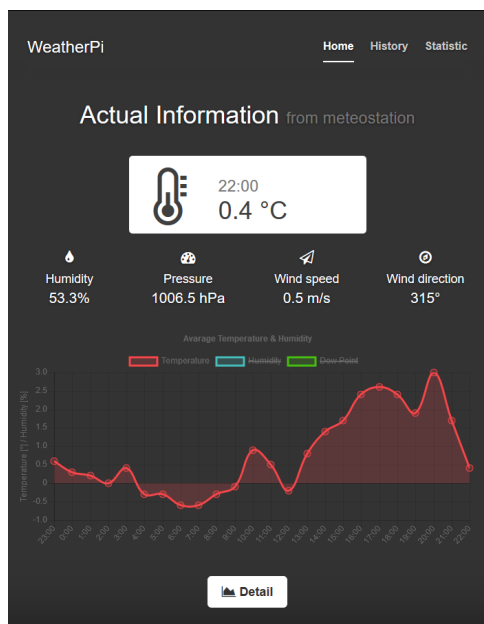
```
$ sudo systemctl enable weatherpi.service
$ sudo systemctl start weatherpi.service
```

Výpis 10: Povolení a spuštění jednotky `systemd`.

Zdroj: [7] [8]

5 Webové rozhraní

Webová aplikace byla pro prezentaci naměřených hodnot a jejich další zpracování. Webová aplikace je určena pro koncového uživatele, kterému je umožněno, pomocí webového rozhraní, nahlížet do průběhu a vývoje aktuálního stavu počasí. Výsledky měření jsou zde aktualizovány každou hodinu, a jejich průběh je vykreslen pomocí interaktivních grafů. Úvodní obrazovka (Obrázek 13) byla vytvořena především pro prezentaci aktuálního počasí a jeho vývoje za posledních 24 hodin. Aktuální počasí je aktualizováno v hodinovém intervalu a jeho hodnoty jsou přehledně vypsány. Vývoj počasí za posledních 24 hodin je vykreslen pomocí několika grafů, kdy každý graf zobrazuje danou meteorologickou veličinu. Výpis starších dat lze nalézt v sekci historie, kde je možné zobrazit všechny naměřené hodnoty v různých časových intervalech. Intervaly jsou předdefinovány na roky, měsíce a dny, kdy meteostanice byla v provozu. Poslední sekci webové prezentace je statistika, dělí se na statistiku ke dni a na statistiku, která čerpá ze všech naměřených hodnot, z nichž zobrazuje vždy nejnižší a nejvyšší naměřenou teplotu a nejvyšší naměřenou rychlost větru za celou dobu provozu meteostanice. Pro zajímavost byla v této sekci přidána odhadovaná nadmořská výška, kterou lze vypočítat z průměrného atmosférického tlaku. Veškeré naměřené hodnoty, které jsou zobrazeny ve webové prezentaci jsou načítány z databáze pomocí php skriptů, které byly pro tyto účely vytvořeny.



Obrázek 13: Úvodní stránka webové aplikace.

5.1 Databáze

Pro ukládání dat byl zvolen systém řízení báze dat MySQL, který je vlastněn dceřinou společností Oracle. MySQL je multiplatformní databáze a komunikace s ní probíhá pomocí jazyka SQL, který je mírně upraven. MySQL pro svou snadnou implementaci, výkon a díky tomu, že se jedná volně šiřitelný software, má vysoký podíl na trhu. Velmi často bývá MySQL součástí webových serverů.

5.1.1 Hodnoty v databázi

Pro ukládání naměřených hodnot v databázi byla vytvořena pouze jedna tabulka, která na všechna tato data postačí. Tabulce 4 obsahuje parametry vytvořené tabulky v databázi MySQL.

Tabulka 4: Parametry tabulky v databázi.

Název	Typ	Další	Popis
id	integer	AUTO INCREMENT	Identifikace
date	datetime	-	Datum a čas, vložení dat
temperature	double	-	Teplota v °C
pressure	double	-	Atmosferický tlak (kPa)
humidity	double	-	Relativní vlhkost v %
windSpeed	double	-	Průměrná rychlost větru v m/s
windImpact	double	-	Nárazová rychlost větru v m/s
windDirection	int	unsigned	Směr větru v stupních (°)

5.1.2 Načítání k databázi

V kapitole 4.5.2 bylo popsán způsob nahrávání dat do databáze z Raspberry Pi, s využitím knihovny v jazyce C++. V této kapitole lze nalézt popis způsobu získání dat z databáze pro webovou aplikaci.

Připojení webové aplikace k databázi bylo zajištěno pomocí jazyku php, který nabízí přímou kompatibilitu s MySQL. Pro získávání dat bylo dle potřeby vytvořeno několik php skriptů, jejichž funkcionality lze ovládat a řídit přetěžováním vstupních parametrů zasílaných pomocí GET. Všechny hodnoty zasílané pomocí GET jsou v php skriptech kontrolovány tak aby nedošlo k porušení databáze pomocí SQL injection.

Php soubory obsahují jednotlivé SQL dotazy, které načítají naměřené hodnoty z databáze do objektové proměnné v php. Načtené hodnoty v objektu jsou poté pomocí funkce uloženy do JSON objektu, jehož obsah je pomocí funkce echo zobrazen na výstupu. Výpis 11 ukazuje php skript pro zjištění nadmořské výšky z průměrné hodnoty atmosférického tlaku.

```

$sql = "SELECT ROUND((1-POW((AVG(pressure)/1013.25),0.190284))*44330.8, 2) AS
altitude FROM weather_all";
$info=array();
// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}
$result = $conn->query($sql);
if ($result->num_rows > 0) {
    // output data of each row
    while($row = $result->fetch_assoc()) {
        array_push($info,$row);
    }
    echo json_encode($info);
}

```

Výpis 11: PHP skript vypisující odhadovanou nadmořskou výšku.

5.2 Webová aplikace

Webová stránka byla vytvořena kombinací jazyku HTML a CSS. Logika webové stránky poté byla vytvořena pomocí jazyku Javascript. Pro práci s CSS byl zvolen framework Bootstrap společnosti Twitter, který je nejpoblárnějším⁷ HTML, CSS a JS frameworkem pro vytváření responzivních a mobilních webů. Tento framework díky předdefinovaným tříd usnadní práci při vytváření vizuální části webové stránky/aplikace. Vzhled webové stránky vychází ze šablony, kterou lze nalézt na oficiálních stránkách frameworku. Šablona byla poté upravena dle potřeby, tak aby byla vhodná pro výpis naměřených hodnot. Dále pro lepší vizuální stránku byly využity ikony pomocí CSS od Font Awsome⁸.

5.2.1 Práce s daty

Naměřené hodnoty byly stahovány z databáze prostřednictvím PHP skriptů, které byly načítány pomocí funkce `get`, kterou nabízí knihovna `jQuery`. Stažené hodnoty byly reprezentovány jako pole znaku, které s využitím funkce `dataJSON` byly převedeny do pole JavaScript objektů, kdy každý objekt reprezentuje jeden řádek tabulky vypsané pomocí SQL z databáze. Jednotlivé objekty jsou poté procházeny a průměrovány dle časových intervalů použitých v grafech.

⁷Zdroj: <http://getbootstrap.com/>

⁸Font Awsome lze stáhnout z: <http://fontawesome.io/>

Pro každou naměřenou veličinu je vytvořeno pole, které je poté použito při vykreslování grafů. Výpis 12 zobrazuje procházení načtených dat v JavaScript objektu, průměrování a ukládání do pole. Vytvořené pole jsou poté využívány pro vykreslování grafu.

```
for (var i = 0; i < hours; i++){
  for (var j in data) {
    if (parseInt(data[j].hour) == i){
      avgTmpTemperature += parseFloat(data[j].temperature);
      avgTmpHumidity += parseFloat(data[j].humidity);
      avgTmpPressure += parseFloat(data[j].pressure);
      avgCount++;}
    if (j == data.length-1){
      avgTmpTemperature = avgTmpTemperature / parseFloat(avgCount);
      avgTmpHumidity = avgTmpHumidity / parseFloat(avgCount);
      avgTmpPressure = avgTmpPressure / parseFloat(avgCount);
      temperature.push(Number(avgTmpTemperature).toFixed(1));
      humidity.push(Number(avgTmpHumidity).toFixed(1));
      pressure.push(Number(avgTmpPressure).toFixed(1));}
  }
  var resultDate = i+':00';
  hourDay.push(resultDate);
  avgTmpTemperature = 0.0;
  avgTmpHumidity = 0.0;
  avgTmpPressure = 0.0;
  avgCount = 0;
}
```

Výpis 12: Průměrování a ukládání načtených dat do pole.

5.2.2 Vykreslování grafů

Pro vykreslování grafů byla využita knihovna ChartJS⁹ napsána v jazyce JavaScript. Pomocí této knihovny jsou grafy úhledně vykreslovány do HTML prvku canvas. Před vykreslením grafu bylo potřeba vytvořit konfigurační objekt, do kterého je potřeba vložit pole hodnot, které bude vykreslováno. Výpis 13 zobrazuje konfigurační objekt pro vykreslení větrné růžice naleznete pomocí knihovny ChartJS. Konfigurační objekt se dělí na tři části, type, data a options. Type určuje o jaký typ grafu se bude jednat, data obsahuje hodnoty a jejich konfiguraci, které se

⁹Knihovna ChartJS: <http://www.chartjs.org/>

budou v grafu vykreslovat. Položka options obsahuje bližší konfiguraci zvoleného grafu.

```
var config = {
  type: 'radar',
  data: {
    labels: directionsArray,
    datasets: [{
      label: "Wind direction [%]",
      borderColor: "rgba(70,191,189,0.5)",
      backgroundColor: "rgba(70,191,189,0.7)",
      data: directionsPersent }]],
  options: {
    legend: {position: 'top'},
    title: {display: true, text: 'Wind Direction history'},
    scale: { ticks: {beginAtZero: true }}
  }
};
```

Výpis 13: Konfigurační objekt pro vykreslení grafu pomocí ChartJS.

6 Porovnání naměřených hodnot

6.1 Použité meteostanice

Pro porovnání naměřených hodnot byly využity 2 meteostanice a klasický rtuťový teploměr, jelikož jednotlivé meteostanice neobsahovali všechny měřené veličiny.

6.1.1 Meteostanice AURIOL

Meteostanice má velký přehledný display pro prezentaci změřených výsledků meteorologických hodnot počasí, upozorňující na jeho změnu. Využívá vnitřní paměť na naměřené hodnoty pro krátkodobou předpověď počasí. Na velkém display nalezneme hodiny, které jsou automaticky řízeny signálem DFC.

Obrázek 14 zobrazuje meteostanici společně s dodávanými venkovními přístroji. První venkovní přístroj slouží k měření rychlosti a směru větru, druhý poté k měření dešťových srážek, ten nebyl k porovnávání údajů potřeba. Meteostanice umožňuje všechny naměřené hodnoty převádět do různých stupnic a jednotek s výjimkou vlhkosti. Například teplotu lze uvádět buďto ve stupních Celsia anebo Fahrenheita.



Obrázek 14: Meteostanice AURIOL s bezdrátovými moduly. (Zdroj: <http://lidl-service.com/>)

Nevýhodou meteostanice je, že neumí měřit venkovní vlhkost, z tohoto důvodu byla zvolena ještě jedna meteostanice.

6.1.2 Meteostanice LIDL

Jak již bylo zmíněno výše, meteostanice značky Auriol neobsahuje čidlo venkovní vlhkosti. Z tohoto důvodu byla zvolena ještě jedna meteostanice, která naopak umožňuje pomocí jednoho bezdrátového modulu, měřit pouze venkovní teplotu a vlhkost. Tato meteostanice nabízí také rádiově řízené hodiny a nastavitelnou stupnici pro teplotu. Jelikož se jedná o meteostanici obchodního řetězce Lidl, který její přesnější údaje nebylo možné dohledat.

6.1.3 Klasický rtuťový teploměr

V tomto případě se nejedná o meteostanici, ovšem i přesto byl použit klasický rtuťový teploměr, a to z důvodu porovnání teploty z klasického teploměru s naměřenými hodnotami elektronických teploměrů.

6.2 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty byly pro lepší přehlednost rozděleny do několika tabulek. Tabulka 5 vyobrazuje naměřené hodnoty teploty vzduchu v různých částech dne. Rozdíly teplot jsou poměrně velké, ovšem teplota naměřená sestavenou meteostanicí se pohybuje s maximální odchylkou 2 °C od rtuťového teploměru. Naopak meteostanice Arinol má odchylku od rtuťového teploměru nejméně 2 °C a v nejhorším případě dokonce 7 °C.

Tabulka 5: Naměřené hodnoty teploty.

Čas	Teplota (°C)		
	Arinol	Raspberry Pi	Rtuťový teploměr
11:00	5	-1.2	-2
12:00	4	-1.2	-2
13:00	3	-0.95	-2
14:00	1	-1.7	-2
15:00	2	-1.6	-2
16:00	1	0.1	-1.5
17:00	1	1	-1
18:00	1	-0.2	-1

Rychlost a směr větru byly měřeny pouze mezi sestavenou meteostanicí a meteostanicí Arinol (Tabulka 6). Průměrná rychlost větru není příliš rozdílná. Mírné odchylky, které se mezi meteostanicemi nachází, mohou být způsobeny tím, že u sestavené meteostanice jsou průměrovány hodinové výsledky. Bohužel u meteostanice Arinol není uvedeno, z jak velkého časového úseku je rychlost průměrována. Naopak směr větru je u obou stanic rozdílný, a to až o 90°. Tento důvod může být způsoben špatným umístěním čidel a jejich mírně rozdílnou polohou (jednotky metrů). Jak bylo psáno v kapitole 2.5.2, rychlost větru má být měřena ve výšce 10 metrů.

Tabulka 7 poté zobrazuje porovnání naměřených hodnot vlhkosti a tlaku. Hodnoty jsou v obou

Tabulka 6: Naměřené hodnoty větru.

	Průměrná rychlost větru (m/s)		Směr větru (°)	
Čas	Arinol	Raspberry Pi	Arinol	Raspberry Pi
11:00	0.98	1.34	135	135
12:00	1.27	1.71	135	135
13:00	2.21	2.05	180	90
14:00	2.00	1.92	180	135
15:00	1.39	1.51	90	0
16:00	1.18	1.21	90	135
17:00	0.97	1.25	90	0
18:00	2.21	1.35	180	225

případech rozdílné, ovšem jejich vývoj je velice podobný. Například u atmosférického tlaku můžeme vidět, že hodnoty jsou rozdílné přibližně o 10 hPa ale jejich růst a pokles je přibližně stejný. Podobný vývoj můžeme spatřit také u vlhkosti, ovšem rozdíl je zde až o přibližně 30 %.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku.

	Vlhkost vzduchu (%)		Tlak (hPa)	
Čas	Lidl	Raspberry Pi	Arinol	Raspberry Pi
11:00	40	62.4	993	981.6
12:00	20	48.6	993	981.2
13:00	27	60.1	994	982.6
14:00	29	61.6	994	982.9
15:00	43	71.4	995	983.2
16:00	37	67.6	993	982.9

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo sestrojít meteostanici na jednodeskovém mikro počítači Raspberry Pi, který bude měřit teplotu, vlhkost, tlak, rychlost a směr větru. Meteostanice obsahuje moduly, pro které byla vytvořena knihovna v jazyce C++, demonstrována řádkovým programem pro operační systém Linux. Raspberry Pi bylo dále rozšířeno o modul hodin reálného času. Naměřené výsledky byly prezentovány pomocí webové aplikace.

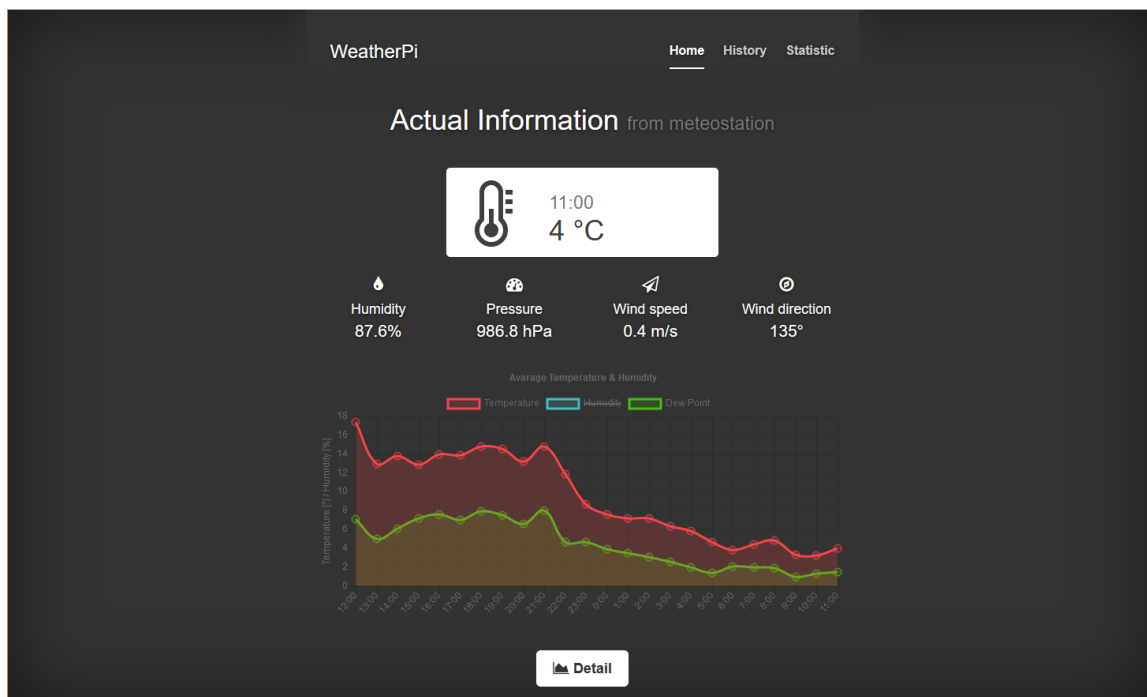
Zadané cíle bakalářské práce byly úspěšně splněny. Vybrané součástky pro měření definovaných veličin byly navrženy a naprogramovány tak, aby vyhovovaly hardwarovým požadavkům počítače Raspberry Pi. Nejsložitější částí bylo vybrat vhodné moduly a senzory, které umožňují komunikaci s Raspberry Pi a jejich prvotní naprogramování k získání dat. Zpracování načtených dat, které byly zaslány do databáze a poté prezentovány pomocí webové stránky, bylo již jednodušší z důvodu použitých knihoven a zvolených programovacích jazyků.

Vytvořená meteostanice byla porovnána s volně dostupnými meteostanicemi. Rozdíly porovnaných meteorologických údajů byly v některých případech zanedbatelné, ovšem některé údaje se mírně lišily. Některé nepřesnosti mohly být způsobeny špatným umístěním čidel anebo jejich nepřesnou kalibrací. Vyrobenou meteostanici lze umístit do kategorie, která přesností odpovídá volně dostupným meteostanicím, avšak její výhodou je webové rozhraní ke sledování vývoje meteorologických veličin.

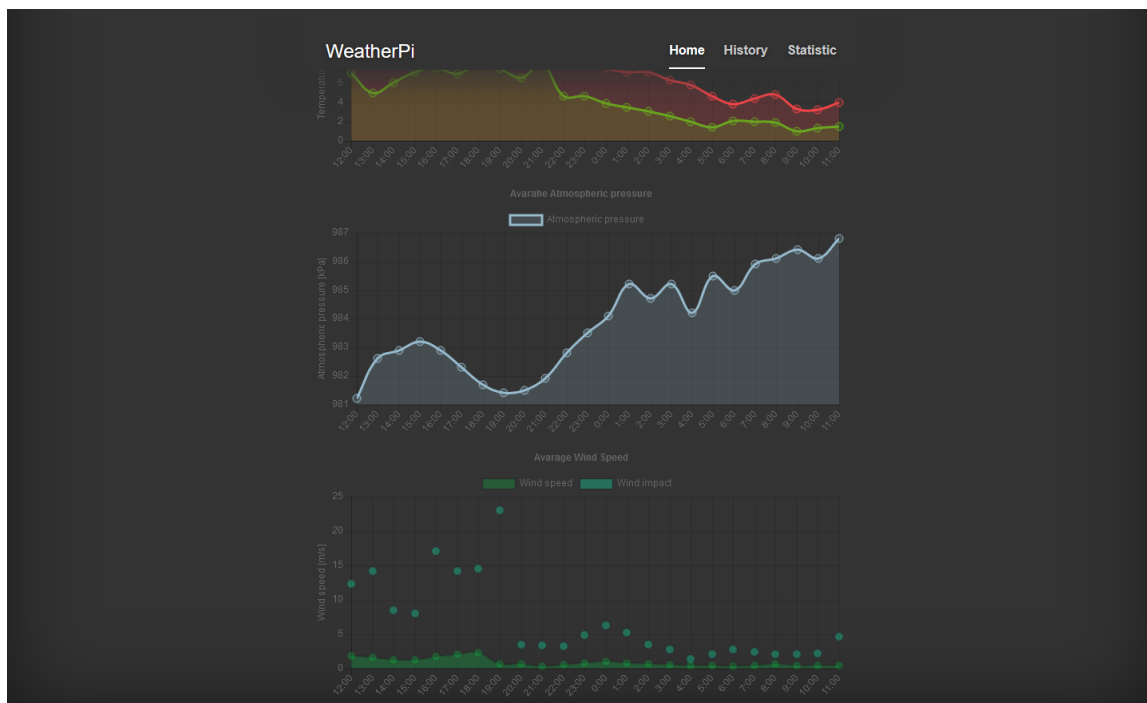
Literatura

- [1] *Meteorologie a klimatologie jako vědní disciplíny* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2014 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/01-uvod.html
- [2] *Meteorologie* [online]. Ostrava: Roman Gajda - GARNI, © 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.garni-meteo.cz/cz/meteorologie/>
- [3] *Encyklopedie* [online]. Meteocentrum, © 2007-2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/>
- [4] *Meteorologie* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/>
- [5] *Komunikace po sériové sběrnici I2C* [online]. Praha: Root.cz univerzita, 2009. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [6] *Úvod do GPIO* [online]. Linuxsoft: Petr Horáček, 2012. Dostupné z: <http://www.linuxsoft.cz/>
- [7] *Seriál Nebojte se systemd* [online]. Praha: Root.cz, Jan Knížek, 2016. Dostupné z: <https://www.root.cz/serialy/nebojte-se-systemd/>
- [8] *Linux: dokumentační projekt*. 4., aktualiz. vyd. Přeložil Lubomír PTÁČEK. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1525-1.

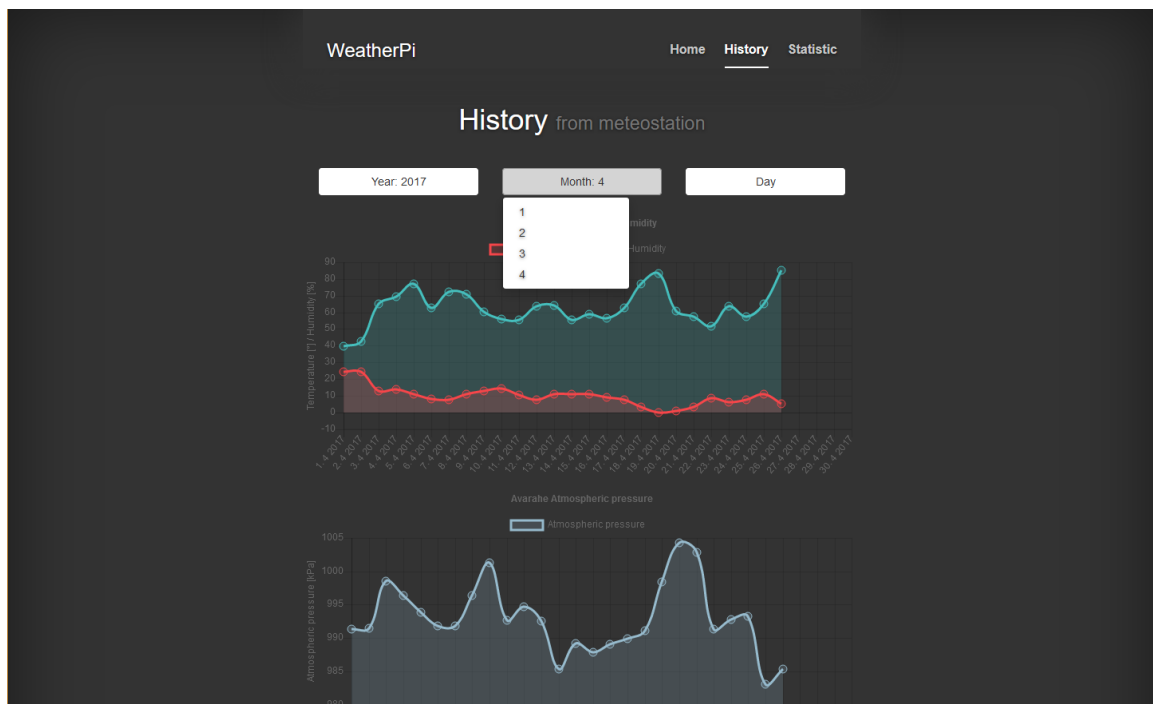
A Obrázky webové aplikace



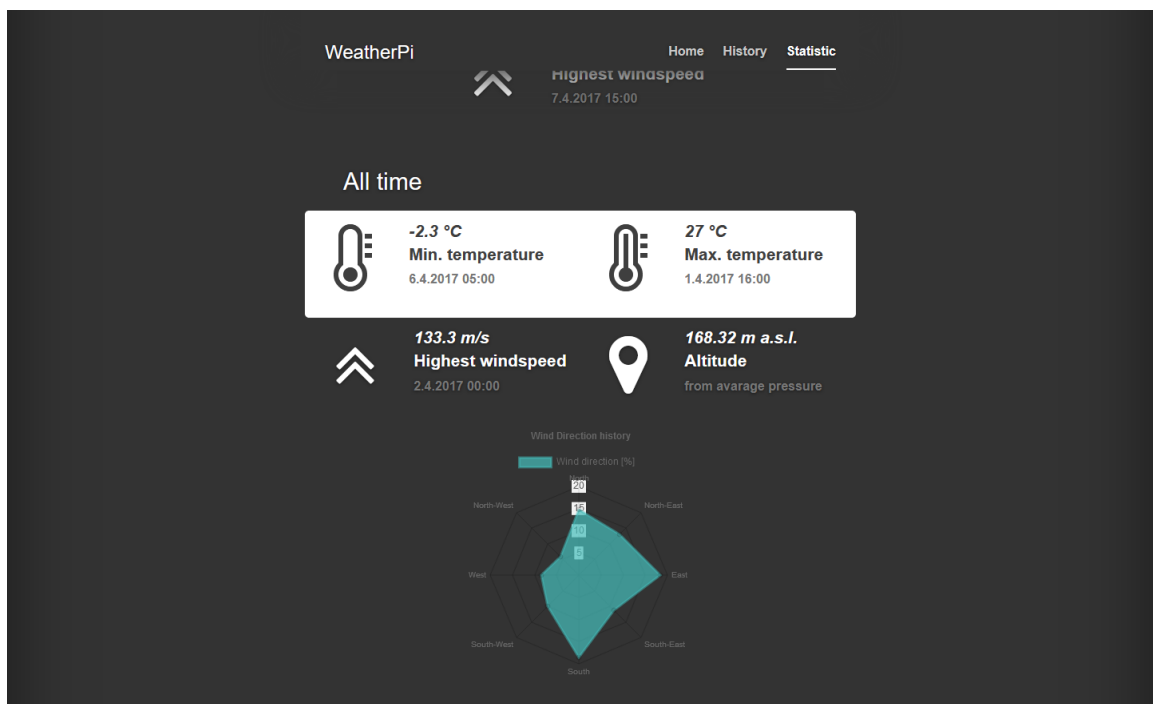
Obrázek 15: Úvodní stránka webové aplikace



Obrázek 16: Zobrazení detailů na úvodní stránce



Obrázek 17: Historie vývoje počasí za 4. měsíc roku 2017 a ukázka výběru.



Obrázek 18: Zobrazení kompletních statistik a větrné růžice.

B Shrnutí instalace meteostanice

1. Instalace operačního systému Rasbian, viz. kapitola 4.1.1
2. Instalace přídatných modulů, viz. kapitola 4.2
3. Instalace knihoven, viz. kapitola 4.3.1
4. Zkopírování obsahu složky *Raspberry Pi* na CD disku do adresáře `/home/pi`
5. Vytvořit pomocí příkazu *make* ve složce `/home/pi/WeatherStation` spustitelný soubor pro čtení hodnot s čidel.
6. Instalace LAMP (Apache, Mysql a PHP serveru), pomocí příkazů nacházející se na CD v souboru `/Ostatní/Manulály/LAMP.txt`.
7. Po nainstalování LAMP je potřeba v souboru `/home/pi/WeatherStationDBconnector/main.cpp` nastavit vytvořené přihlašovací údaje do databáze.
8. Zkopírování obsahu složky *Webová aplikace* na CD disku do adresáře `/var/www/`
9. Úprava souboru *config.php* v adresáři `/var/www/data/` na vytvořené přihlašovací údaje.
10. Úprava URL adres v adresáři `/var/www/` v souborech s příponou `js` na aktuální IP adresu zařízení.

C Obsah CD

- **Databáze** - Složka obsahující 2 SQL soubory. První pro vytvoření DB s daty, druhý pro vytvoření DB bez dat.
- **Raspberry Pi** - Složka obsahující zdrojové kódy řádkové aplikace.
- **Webová aplikace** - Složka obsahující zdrojové kódy webové aplikace, včetně skriptů pro čtení s databáze.
- **Ostatní** - Složka obsahující knihovny a manuály výrobců.
- **Meteostanice-OBR0043.pdf** - Soubor obsahující textovou část bakalářské práce.